

**ANALISA UJI ISOLASI PADA TRANSFORMATOR TENAGA DI GARDU INDUK
150 KV KLATEN**



**Disusun sebagai salah satu syarat menyelesaikan Program Studi Strata I
pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik**

Oleh:

ILHAM HUTOMO ABI PAMUNGKAS

D400160044

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA

2020

HALAMAN PERSETUJUAN

**ANALISA UJI ISOLASI TRANSFORMATOR TENAGA DI GARDU INDUK
150 KV KLATEN**

PUBLIKASI ILMIAH

Oleh :

ILHAM HUTOMO ABI PAMUNGKAS

D400160044

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji oleh ;

Dosen Pembimbing

acc 17/2-2018



Aris Budiman, S.T, M.T
NIK. 885

HALAMAN PENGESAHAN

**ANALISA UJI ISOLASI TRANSFORMATOR TENAGA DI GARDU INDUK
150 KV KLATEN**

**OLEH
ILHAM HUTOMO ABI PAMUNGKAS
D400160044**

**Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji
Fakultas Teknik Progra Studi Teknik Elektro
Universitas Muhammadiyah Surakarta
Pada hari Senin, 24 Febuari 2020
Dan dinyatakan telah memenuhi syarat**

Dewan Penguji:

- 1. Aris Budiman, ST. MT
(Ketua Dewan Penguji)**
- 2. Hasyim Asy'ari, ST. MT
(Anggota 1 Dewan Penguji)**
- 3. Umar, ST. MT
(Anggota II Dewan Penguji)**



Dekan,

Ir. Sri Sunarjono, M.T., Ph.D., IPM

NIK/NIDN : 0630126302

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam naskah publikasi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila kelak terbukti ada ketidakbenaran dalam pernyataan saya di atas, maka akan saya pertanggung jawabkan sepenuhnya.

Surakarta, 27 Januari 2020

Penulis



ILHAM HUTOMO ABI P
D400160044

ANALISA UJI ISOLASI TRANSFORMATOR TENAGA DI GARDU INDUK 150 KV KLATEN

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA

Abstrak

Transformator tenaga adalah suatu alat yang digunakan untuk menaikkan atau menurunkan tegangan dalam pendistribusian tenaga listrik. Tahanan isolasi sendiri merupakan tahanan yang terdapat di antara kedua kawat yang diisolasi satu sama lain atau tahanan antara satu kawat saluran dengan ground. Pengujian biasanya berupa pengujian tahanan isolasi dengan metode penghitungan indeks polaritas di mana trafo akan diuji untuk mengetahui apakah trafo dalam kondisi bagus atau tidak. Penghitungan tangen delta tujuannya untuk mengukur kebocoran arus kapasitif pada transformator. Selanjutnya pengujian minyak dengan pengujian tegangan tembus pada minyak, dilakukan dengan tahap 6 kali pengukuran dan dibuat rata-rata untuk dibandingkan dengan standar yang sudah ditentukan. Perhitungan indeks polaritas didapat hasil uji menunjukan secara keseluruhan diatas 1,25 dan diatas 2 itu artinya nilai indeks polaritas untuk tahanan isolasi bisa dikatakan masih bagus. Hasil uji untuk tangen delta menunjukan hasil secara keseluruhan dibawah 0,5% dan itu artinya nilai tangen delta menunjukan angka yang bagus. Hasil uji tegangan tembus minyak isolasi untuk minyak bagian atas, minyak bagian bawah, minyak OLTC menunjukan rata-rata 87,4 kV/2.5mm, 88,1 kV/2.5mm, 39,1 kV/2.5mm masih dalam kondisi yang bagus.

Kata kunci : Indek polaritas, transformator tenaga, tahanan isolasi, , tangen delta, tegangan tembus minyak trafo

Abstract

Power transformer is a device used to increase or decrease the voltage in the distribution of electric power. Insulation resistance itself is a resistance contained between two wires that are insulated from one another or resistance between one channel wire with the ground. The test is usually in the form of insulation resistance testing using the polarity index method where the transformer will be tested to determine whether the transformer is in good condition or not. The purpose of delta tangent calculation is to measure capacitive leakage current in the transformer. Furthermore, oil testing by testing the breakdown voltage on oil, is carried out with a six-time measurement and is made on average to be compared with a predetermined standard. From the calculation of the polarity index, it is obtained that the overall support test results are above 1.25 and above 2, it means that the polarity index values for insulation prisoners can be said to be still good. The test results for tangen delta show overall results below 0.5% and that means the delta tangent value shows a good number. The results of the test for the breakdown voltage of insulating oil for upper oil, lower oil, OLTC oil show an average of 87.4 kV / 2.5mm, 88.1 kV / 2.5mm, 39.1 kV / 2.5mm are still in good condition.

Keywords : Polarity index, power transformer, insulation resistance, delta tangent, transformer oil breakdown voltage

1. PENDAHULUAN

Gardu induk merupakan salah satu bagian dari sistem tenaga listrik yang terdiri dari beberapa peralatan listrik yang disusun dengan pola tertentu sesuai dengan pertimbangan teknis, ekonomis serta keindahan. Salah satu fungsi dari gardu induk sendiri adalah untuk mentransformasikan tenaga listrik tegangan tinggi yang satu ke tegangan yang lain misal tegangan menengah, peralatan yang digunakan yaitu transformator di mana transformator sendiri merupakan suatu peralatan tenaga listrik yang digunakan untuk mentransformasikan daya listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah atau sebaliknya. Pentingnya penelitian mengenai tahanan isolasi dalam transformator itu sendiri untuk mengetahui agar transformator tersebut memenuhi standar yang sudah ditentukan. Isolasi berfungsi untuk mengisolasi trafo agar tidak terjadi panas yang dapat merusak trafo itu sendiri dan agar trafo tidak terbakar maka dari itu dilakukan pengujian tahanan isolasi pada transformator tenaga, tahanan isolasi adalah suatu arus bocor yang menembus dan melewati isolasi atau jalur bocor pada permukaan external.

Pengujian tahanan isolasi dapat dipengaruhi oleh kelembaban, suhu dan juga lajur bocor atau bisa karena kotor pada bagian atau isolator. Alat yang digunakan untuk mengukur tahanan isolasi ini disebut alat uji tahanan isolasi atau *megger* (megaohm meter) yang memiliki kapasitas pengujian 500, 1000, 2500, atau 5000 V dc. Tahap pertama dari penelitian ini adalah pengukuran indeks polaritas, tujuan dari pengukuran indeks polaritas untuk mengetahui apakah peralatan masih layak atau tidak, selanjutnya pengukuran tahanan delta, tujuan dari pengukuran tahanan delta untuk mengetahui besar arus bocor kapasitif pada peralatan transformator, selanjutnya pengujian minyak trafo, pengujian ini bertujuan untuk mengetahui apakah minyak masih memiliki kualitas yang bagus atau tidak.

Target dari penelitian ini untuk mendapatkan data, menganalisa dan membandingkannya dengan standar yang sudah ditentukan dalam penelitian tahanan isolasi untuk transformator tenaga di suatu gardu induk yang sedang diteliti. konsep yang dilakukan dalam penelitian ada beberapa tahap untuk indeks polaritas dalam durasi waktu yang berbeda, sedangkan pengujian tahanan delta dilakukan dengan beberapa rangkaian Test Mode UST, Test Mode GST, Test Mode GSTg (PT PLN PERSERO 2013). Selanjutnya pengujian minyak dengan pengujian tegangan tembus pada minyak, dilakukan dengan beberapa tahap 6 kali pengukuran dan di buat rata-rata untuk dibandingkan dengan standar yang sudah ditentukan.

2. METODE

2.1 Perancangan Penelitian

2.1.1 Waktu dan Tempat Penelitin

Penelitian ini dimulai dengan meminta persetujuan pada instansi yang dituju untuk pengambilan data dalam pengujian isolasi tahanan transformator tenaga pada bulan Oktober 2019 dan disejtkui juga pada bulan Oktober 2019 untuk selanjutnya dilakukan pengolahan dan pengkajian data yang telah diperoleh hingga bulan Desember 2019. Penelitian dilaksanakan di PT PLN (Persero) Gardu Induk 150kV Klaten.

2.1.2 Metode Literatur

Metode literatur digunakan untuk peninjauan seperti jurnal, buku serta SOP penelitian sesuai dengan judul yang akan dibahas yang mana untuk dijadikan sebagai bahan referensi dalam penulisan dan pembahasan seperti yang tertera pada daftar pustaka.

2.1.3 Metode Wawancara

Metode wawancara digunakan sebagai langkah awal dalam pengumpulan data dan membahas permasalahan yang akan diteliti. Peneliti melakukan wawancara dengan beberapa pegawai di lingkungan Gardu Induk Klaten.

2.1.4 Pengambilan Data

Pengambilan data memberikan informasi mengenai data pada penelitian di Gardu Induk 150kV Klaten. Dimana data yang diambil mengenai uji isolasi transformator tenaga. Berdasarkan sumber data ada dua bagian data primer dan data sekunder.

1. “Data Primer”

Pengambilan data primer dilakuakn di PT PLN (Persero) Gardu Induk 150kV Klaten berupa hasil pengujian tahanan isolasi, tangen delta, dan tegangan tembus minyak trafo.

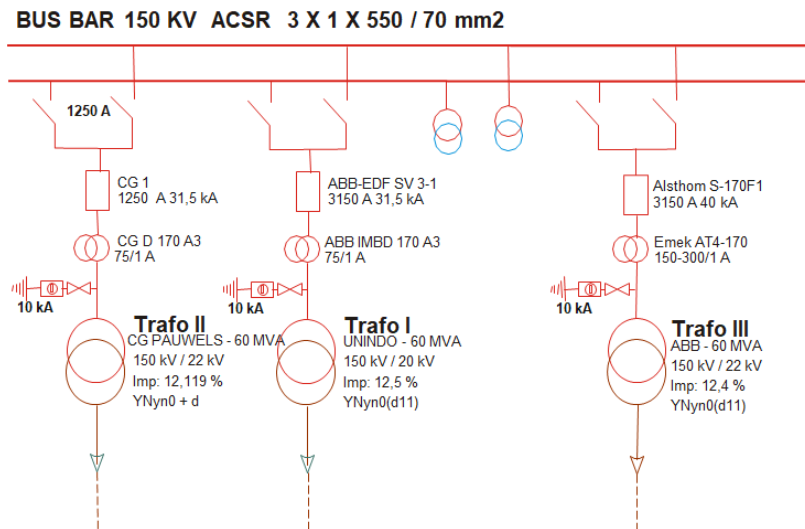
2. “Data Sekunder”

Pengambilan data sekunder pada penelitian ini mengacu pada standar yang sudah ditetapkan yang berhubungan dengan penelitian ini.

2.1.5 Analisa Data

Data yang telah diperoleh kemudian akan diolah sesuai kebutuhan oleh penulis untuk selanjutnya hasil dari pendekatan statistik sederhana tersebut akan disajikan dalam bentuk narasi dan tabel sesuai dengan kebutuhan.

2.2 Skema Single Line Trafo Di Gardu Induk Klaten



Gambar 1. Single line transformator Gardu Induk 150kV Klaten

Busbar 150 kV adalah batangan berbahan metal yang digunakan di dalam panel listrik (atau bisa disebut switchboard switchgear) dengan level tegangan 150kV. ACSR 3×1×550/70 mm² merupakan aluminium konduktor inti baja yang terhubung dengan 3 transformator dan mempunyai diameter aluminium 550 mm² dan diameter baja 70 mm².

Almstom S-170F1 merupakan saklar pemutus tenaga (PMT) peralatan pemutus rangkaian listrik pada suatu sistem tenaga listrik dengan arus pengenal 3150A dan 40kA.

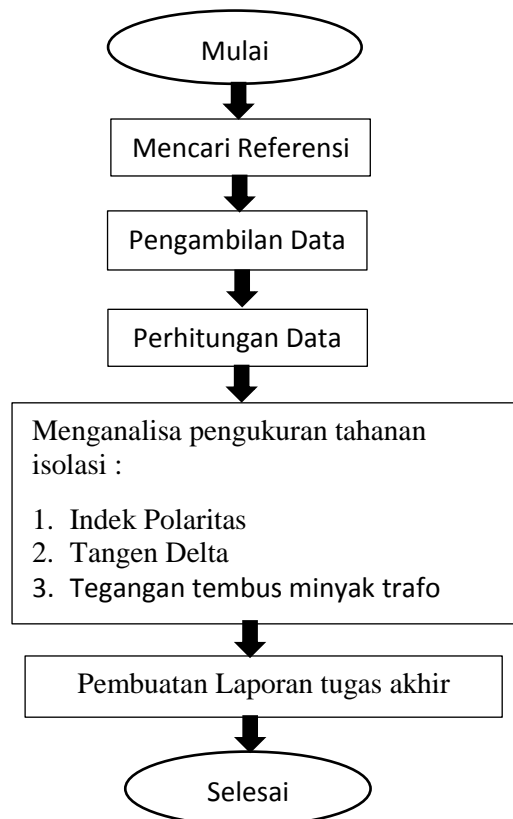
Emek AT4-170 merupakan Current transformer (CT) peralatan yang mengubah besaran arus dari besar kekecil atau sebaliknya sesuai kebutuhan dengan kapasitas tenaga 150kV, rasio 300/1A berarti CT harus mengeluarkan arus sebesar 1A pada sisi sekundernya apabila sisi primer CT dialiri arus sebesar 300A.

2.3 Name Plate Transformator Tenaga Di Gardu Induk Klaten

Tabel 1. Name plate transformator

Tipe	SDOR 30.000/170
Daya	60 MVA
Tegangan primer	150 kV
Tegangan sekunder	20kV
Frequency	50
Arus primer	105/116/136 A
Arus sekunder	886 A
Tingkat isolasi	Li 250 kV
Tipe Pendinginan	ONAN
Merk	ABB Transformatoren
Trafo	3 phasa

2.4 Flowchart Penelitian



Gambar 2. Flowchart penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dan pembahasan dari uji isolasi transformator ini meliputi pengujian tahanan isolasi berupa mengetahui nilai indeks polaritas, tangen delta, tegangan tembus minyak isolasi pada trafo 3 Gardu Induk 150 kV Klaten

3.1 Analisa Uji Tahanan Isolasi Transformator

Tahanan isolasi adalah tahanan yang terdapat di antara dua kawat saluran (kabel) yang diisolasi satu sama lain atau tahanan antara satu kawat saluran dengan tanah (*ground*) (Andrianto, 2016). Hargi (2017) mendefinisikan tahanan isolasi adalah sebagai suatu yang diukur dari isolasi anantara belitan dan inti besi.

Indeks polarisasi pada transformator dilakukan untuk memeriksa kondisi layanan isolasi material. Pengujian ini biasanya dilakukan untuk memeriksa kekeringan dan kesehatan isolasi. Karena setiap transformator memiliki beberapa cara, sulit untuk menentukan nilai IR yang dapat diterima. Diukur dalam mega-ohm. Nilai IR tergantung pada suhu. Dalam uji *Insulation Resistance*, tegangan DC tinggi diterapkan di seluruh isolator. Tegangan yang diberikan ini

kemudian dibagi dengan arus melalui isolator listrik untuk mendapatkan nilai resistif isolator, karena sesuai hukum Ohm. Resisitansi isolasi antara belitan HV-LV, HV-E, dan LV-E diukur dengan bantuan 5000V 1000V *resistance tester (magger)*. Gunakan 1000V *magger* untuk pengukuran resistansi LV-E.

Tangen delta merupakan metode diagnosis secara electric untuk mengetahui kondisi isolasi pada trafo. Jika isolasi bebas dari cacat/*defect* , maka isolasi itu akan bersifat kapasitif sempurna seperti halnya isolator yang berada di antara dua elektroda pada sebuah kapasitor. Untuk mengetahui kondisi tangen delta masih bagus dengan cara menghitung *dissipation factor*. Semakin rendah tangen delta maka semakin bagus kodisinya dan semakin tinggi tangen delta maka semakin jelek kondisinya.

Tegangan tembus minyak trafo, dalam hal ini minyak transformator berperan penting untuk pemisah atau isolasi antara kumparan dan peralatan yang berada di sekitarnya. Namun tingginya beban menyebabkan pemanasan pada transformator yang menyebabkan terdegradasinya minyak isolasi transformator dimana menyebabkan terjadinya peningkatan potensi tegangan bocor. Oleh sebab itu minyak isolasi memerlukan uji tegangan tembus untuk mengetahui sampai mana bisa menahan tegangan tinggi sampai mengalami kegagalan

3.2 Data Tahanan Isolasi

3.2.1 Indek Polaritas

a. Data Hasil Uji indeks Polaritas

Tabel 2. Data hasil uji indeks polaritas

No	Aktivitas	Hasil Sebelumnya			Kondisi Akhir		
		1 min	10 min	IP	1 min	10 min	IP
1	<i>Primary-Ground</i>	3.06	5.75	1.87	4.53	9.06	2.0
2	<i>Sekundary-Ground</i>	4.11	9.13	3.22	3.93	9.30	2.36
3	<i>Tertiery-Ground</i>	2.99	8.77	2.93	3.88	10.30	2.65
4	<i>Primary-Sekundery</i>	4.31	9.87	2.29	4.85	12.10	2.49
5	<i>Primary-Teriter</i>	4.76	12,60	2.64	9.61	15.60	1.62
6	<i>Sekundery-Teriter</i>	3.47	9.92	2.85	2.94	7.08	2.61
7	<i>Primary&Sekundery-Teriter</i>	2.77	9.07	3.27	2.36	6.89	2.91
8	<i>Primary&Sekundery-Ground</i>	2.82	5.41	1.97	2.43	4.87	2.01

b. Analisa Uji Indeks Polaritas

Hasil yang didapat dari uji indeks polaritas secara keseluruhan menunjukkan untuk hasil sebelumnya dengan aktivitas pengukuran *Primary-Ground* dan *Primary&Sekundery-Ground* pada nilai 1.87 dan 1.97 itu artinya masih dalam interval 1,25 – 2 dan dalam kondisi ‘Bagus’, sedangkan aktivitas pengukuran yang lainnya menunjukkan nilai diatas 2 artinya dalam kondisi

‘Sangat Bagus’. Kondisi akhir untuk aktivitas pengukuran *Primary-Teriter* menunjukkan nilai yang berbeda yaitu 1.62 masih dalam interval 1,25 – 2 dan masih dalam kondisi ‘Bagus’, sedangkan untuk aktivitas pengukuran yang lainnya menunjukkan angka diatas 2 dimana dalam kondisi yang ‘Sangat Bagus’.

Data pada tabel 1 dapat disimpulkan bahwa kondisi tahanan isolasi dilihat dari hasil indeks polaritas menunjukkan hasil yang bagus untuk tahanan isolasi transformator. Salah satu efek yang mempengaruhi tahanan isolasi trafo adalah temperatur. Hal ini terjadi karena panas belitan, inti besi, minyak trafo pada derajat tertentu dapat menurunkan nilai dielektrik dari bahan isolasi belitan tersebut, maka dari itu pengukuran dengan interval 1 menit kemudian 10 menit membuat nilai yang berbeda.

Perbandingan nilai dari hasil dua pengukuran berbeda waktu tersebut dapat dipakai untuk menghitung nilai indeks polaritas (IP) :

$$IP = \frac{R_{10}}{R_1}(1)$$

Keterangan :

R_1 : Nilai tahanan isolasi menit pertama

R_{10} : Nilai tahanan isoalsi menit kesepuluh

IP : Nilai indeks polaritas

Contoh perhitungan indeks polaritas seperti pada tabel 1 adalah :

Primary-Ground

$$IP = \frac{5.75}{3.06}$$

$$= 1.87$$

Sekundery-Ground

$$IP = \frac{9.13}{4.11}$$

$$= 3.22$$

Hasil perhitungan indek polaritas untuk *Primary-Ground* dalam keadaan “Baik” karena angka indeks polaritas menunjukkan hasil antara 1.25 - 2 dan *Sekundery-Ground* dalam keadaan Sangat Baik karena menunjukkan angka diatas 2. Standar hasil uji trafo menggunakan Standar (Buku O&M Trafo). Berikut adalah tabel yang menunjukkan hubungan nilai indeks polarisasi terhadap kondisi trafo:

Tabel 3. Standar nilai indeks polaritas

Kondisi	Indeks Polarisasi	Rekomendasi
Berbahaya	< 1	Dilakukan Investigasi
Jelek	1 – 1.1	Dilakukan Investigasi
Dipertanyakan	1.1 – 1.25	Dilakukan Uji Kadar Minyak, Uji Tan Delta
Baik	1.25 – 2	–
Sangat Baik	> 2	–

Standar indeks polaritas di atas yang dipakai sebagai acuan dalam pengukuran tahanan isolasi pada transformator. Menunjukkan bahwa untuk angka pengukuran menunjukan dibawah 1 maka kondisi tahanan isolasi berbahaya dan harus dilakukan investigasi untuk selanjutnya dilakukan penanganan. Sama juga untuk angka pengukuran diantara 1 – 1.1 juga harus dilakukan investigasi, sedangkan untuk hasil pengukuran diangka 1.1 – 1.25 hasil ini masih dipertanyakan karena harus dilakukan uji kelanjutan yaitu uji kadar minyak pada trafo dan juga uji tangen delta untuk memastikan kondisi tahanan tersebut. Untuk hasil pengukuran diangka 1.25 – 2 menunjukan kondisi yang baik, apabila pengukuran menunjukan angka diatas 2 maka memiliki kondisi yang sangat baik.

3.2.2 Tangen Delta

a. Hasil Uji Tangen Delta :

Tabel 4. Hasil uji tangen delta

No.	Insulation Tested	Mode	Tegangan (kV)	Arus (mA)	Daya (Watt)	Tan δ (%)	Power Factor Coorection	Capacitance C(pF)
1	CHG + CHL	GSTg	10.00	33.52	0.76	0.23	0.92	10715.45
2	CHG	GSTg	10.00	13.06	0.30	0.23	0.92	4161.74
3	CHL	UST	10.00	20.62	0.46	0.22	0.92	6573.16
4	CLG + CLT	GSTg	10.00	44.89	1.30	0.29	0.92	14301.92
5	CLG	GSTg	10.00	3.39	0.22	0.65	0.92	1069.65
6	CLT	UST	10.00	41.50	1.06	0.25	0.92	13262.48
7	CTG + CHT	GSTg	10.00	7.52	0.04	0.25	0.92	11977.62
8	CTG	GSTg	10.00	7.49	0.04	0.25	0.92	11897.16
9	CHT	UST	10.00	0.06	0.01	0.22	0.92	80.2

Keterangan pada tabel pengukuran tangen delta :

CHG : *Capasitance high ground*

CHL : *Capasitance high low*

CLG : *Capasitance low ground*

CTG : *Capastiance tersier ground*

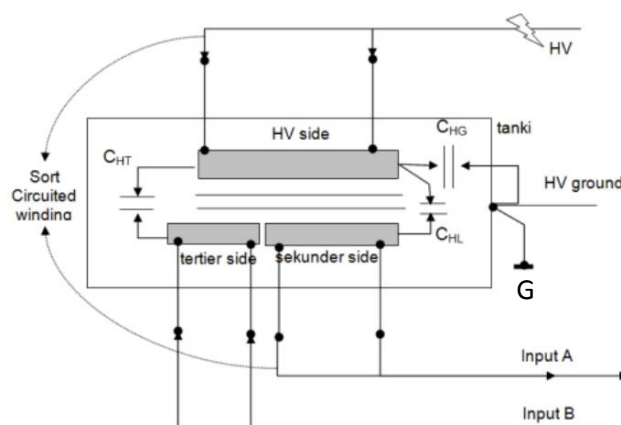
CHT : *Capasitance high tersier*

CLT : *Capasitance high tersier*

b. Analisa Uji Tangen Delta

Data yang didapat pada tabel 3 merupakan hasil uji tangen delta pada transformator secara keseluruhan. Beberapa parameter menunjukkan saling keterkaitan untuk mengetahui nilai tangen delta, Mode yang digunakan GSTg dengan *insulation tested* CHG+CHL, CHG, CLG + CLT, CLG, CTG + CHT, CTG dan UST dengan *insulation tested* CHL, CLT, dan CHT. Nilai yang didapat pada tangen delta semua pengukuran menunjukkan nilai dibawah 0.5% itu artinya dalam kondisi yang masih bagus secara keseluruhan.

Rangkaian pengujian tangen delta :



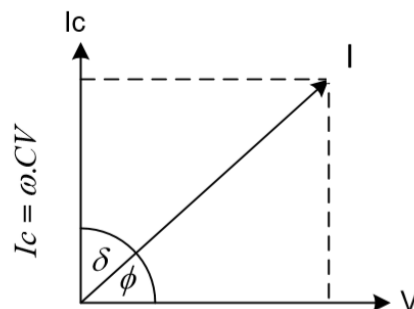
Gambar 2. Rangkaian pengukuran tangen delta.

Pengukuran rangkaian tangen delta ada beberapa macam pengukuran yang sesuai dengan standar yang ada dalam buku panduan Standar (Buku O&M Trafo) :

1. GST (*Grounded Speciment Test*), yaitu kapasitansi obyek yang diuji dengan ground .
2. GSTg (*Grounded Speciment Tes Guard*), kapasitansi pada obyek yang diuji terhadap ground
3. UST (*Undergrounded Speciment Test*), yaitu kapasitansi antara dua obyek yang sama sekali tidak terhubung dengan ground.

Pengujian tangen delta dilakukan dengan pengukuran kemampuan dielektrik pada kegagalan (breakdown) dan pengukuran kerugian dielektrik untuk mengetahui kualitas isolasi belitan transformator. Transformator yang diuji diibaratkan sebagai kapasitor. Apabila sebuah kapasitor sempurna / ideal diberikan tegangan bolak – balik sinusoida maka arusnya akan mendahului tegangan dengan 90° .

Pengujian kali ini hanya memakai mode pengukuran GSTg dan UST. Tangen delta merupakan perbandingan hasil dari perhitungan arus resistif dan arus kapasitif, dimana rumus dari tangen delta yang didapat sebagai berikut :



Gambar 3. Arus mendahului tegangan dengan sudut 90°

Hal ini berlaku hubungan antara arus I_c dengan tegangan V :

$$I_c = \omega C V \dots\dots\dots(2)$$

$$I_R = \frac{PD}{V} \dots\dots\dots(3)$$

Karena kehilangan suatu daya dielektrik, maka Arus (I) mendahului Tegangan (V) dengan sudut kurang dari 90° , sudut ϕ disebut sebagai sudut fasa dari kapasitor dan factor dayanya $\cos \phi$ dan

$$\delta = 90^\circ - \phi \dots\dots\dots(4)$$

Disebut sebagai *loss angel* (sudut kehilangan). Jadi faktor daya dapat juga dinyatakan sebagai $\sin \delta$.

Dalam kapsitor sempurna (*ideal*) $\phi = 90^\circ$,sehingga $\delta = 0$, oleh karena itu kehilangan suatu daya elektrik dinyatakan sebagai :

$$PD = I V \cos \phi = I V \sin \delta \dots\dots\dots(5)$$

Jadi kehilangan daya dalam suatu kapasitor sempurna adalah Nol. Jadi persamaanya adalah :

$$I_c = I \cos \delta \dots\dots\dots(6)$$

$$\text{Sehingga, } C = \frac{I}{\omega V} \cos \delta \dots\dots\dots(7)$$

$$PD = V \sin \delta \frac{V \omega C}{\cos \delta} \dots\dots\dots(8)$$

$$= V^2 \omega C \tan \delta \dots\dots\dots(9)$$

Keterangan :

I_c = Arus Kapasitor

I_r = Arus Resistan

ω = $2\pi f$

PD = *Power Dissipation*

Tan δ = *Dissipation Factor*

Dari data di tabel dapat dilakukan perhitungan tangen delta dengan menggunakan rumus diatas

1. CHG + CHL

2. CLG + CLT

$$PD = V^2 \omega C \tan \delta$$

$$PD = V^2 \omega C \tan \delta$$

$$\tan \delta = \frac{PD}{V^2 \cdot \omega \cdot C}$$

$$\tan \delta = \frac{PD}{V^2 \cdot \omega \cdot C}$$

$$= \frac{0.76}{10000^2 \times 2 \times 3.14 \times 50 \times 10715.45 \times 10^{-12}}$$

$$= \frac{1.30}{10000^2 \times 2 \times 3.14 \times 50 \times 14301.92 \times 10^{-12}}$$

$$= \frac{0.76}{3364652.3 \times 10^{-4}}$$

$$= \frac{1.30}{4490802.8 \times 10^{-4}}$$

$$= \frac{0.76}{336.47}$$

$$= \frac{1.30}{449.08}$$

$$= 0.23\%$$

$$= 0.29\%$$

Hasil perhitungan dengan menggunakan rumus tangen delta, hasil antara alat dan perhitungan manual tidak jauh beda dan hasil untuk pengukuran pada data tabel 3 dengan *insulation tested* CHG+CHL menunjukkan angka 0,03% dan CLG+CLT menunjukkan angka 0,02% dimana dari standar pengujian tangen delta menunjukkan bahwa kondisi uji tangen delta pada kedua pengukuran dalam kondisi bagus karena masih $\leq 0,5\%$ dan rata rata pengukuran pada seluruhnya menunjukkan pengukuran $\leq 0,5\%$ yang artinya sama masih dalam keadaan baik, untuk pengukuran CLG menunjukkan angka 0,65% yang mana artinya mengalami penurunan. Berikut standar uji tangen delta yang sudah ditetapkan :

Tabel 5. Standar uji tangen delta

Hasil Uji	Kondisi
$\leq 0.5\%$	Bagus
0.5% - 0.7%	Mengalami penurunan
0.5% - 1.0%	Mengalami penurunan dan perlu <i>invtesigated</i>
$\geq 1.0\%$	Jelek

3.2.3 Tegangan Tembus Minyak Isolasi

a. Data Hasil Uji Tegangan Tembus Minyak Isolasi

Pengujian tegangan tembus pada trafo di gardu induk Klaten dengan menggunakan test BDV (*Break Down Voltage*) yang dimana prinsipnya dilakukan pengukuran selama 6 kali percobaan, akan ada suara saat tegangan naik, diberi selang waktu 5 menit untuk break down lalu dilakukan tes lagi seterusnya sampai 6 kali.

Tabel 6. Hasil Uji Tegangan Tembus Minyak Isolasi Transformator

No	Uraian kegiatan	Acuan		Selang waktu 5 menit-an ke	Hasil (kV/2,5mm)	Kesimpulan
1	Tegangan tembus minyak	Standart IEC 156				
		Tegangan	Teg. Tembus yg diijinkan			
	-Minyak Bagian Atas	< 70kV 70 – 170kV >170kV	>30kV/2.5mm >40kV/2.5mm >50kV/2.5mm	1	90.0	OK
2				68.7		
3				100.1		
4				89.6		
5				85.4		
6				89.8		
Rata-rata				87.4		
	-Minyak Bagian Bawah	< 70kV 70 – 170kV >170kV	>30kV/2.5mm >40kV/2.5mm >50kV/2.5mm	1	73.4	OK
2				79.1		
3				100.2		
4				100.2		
5				80.8		
6				94.9		
Rata-rata				88.1		
	-Minyak OLTC	< 70kV 70 – 170kV >170kV	>30kV/2.5mm >40kV/2.5mm >50kV/2.5mm	1	28.4	OK
2				19.3		
3				36.5		
4				57.7		
5				42.7		
6				50		
Rata-rata				39.1		

b. Analisa Tegangan Tembus Minyak Isolasi

Bagian minyak yang diuji tegangan tembusnya, minyak bagian atas, minyak bagian bawah, dan minyak OLTC. Standar yang digunakan sebagai acuan adalah *standart IEC 156*. Ada tiga parameter standar :

1. Untuk tegangan $<70\text{kV}$, tegangan tembus yang diijinkan $>30\text{kV}/2.5\text{mm}$
2. Untuk tegangan $70 - 170\text{kV}$, tegangan tembus yang diijinkan $>40\text{kV}/2.5\text{mm}$
3. Untuk tegangan $>170\text{kV}$, tegangan tembus yang diijinkan $>50\text{kV}/2.5\text{mm}$

Hasil di minyak bagian atas dari uji pertama sampai uji keenam dengan tegangan $>170\text{kV}$ dan tegangan tembus yang diijinkan $>50\text{kV}/2.5\text{mm}$ menunjukkan hasil rata-rata dengan nilai $87.4\text{ kV}/2.5\text{mm}$ dimana nilai tersebut masih bagus menurut *standart IEC 156*. Dibagian bawah minyak dengan tegangan yang sama yaitu $>170\text{kV}$ dan tegangan tembus yang diijinkan $>50\text{kV}/2.5\text{mm}$ menunjukkan hasil rata-rata dengan nilai $88.1\text{ kV}/2.5\text{mm}$ di mana masih dalam kondisi bagus. minyak OLTC (*On Load Tap Changer*) dengan tegangan yang berbeda $<70\text{ kV}$ dan tegangan tembus yang diijinkan $>30\text{kV}/2.5\text{mm}$ menunjukkan hasil rata-rata dengan nilai $39.1\text{ kV}/2.5\text{mm}$ menunjukkan kondisi yang masih bagus juga sesuai *standart IEC 156* . Minyak yang sudah tidak layak biasanya akan berwarna coklat dan minyak yang masih baru berwarna kuning bening.

4. PENUTUP

Hasil penelitian uji tahanan isolasi dari transformator tenaga di Gardu Induk Klaten dengan kesimpulan sebagai berikut:

1. Transformator tenaga di Gardu Induk Klaten bisa dikatakan masih dalam keadaan bagus karena masih dalam keadaan baru dan belum lama diganti.
2. Hasil uji indeks polaritas menunjukan hasil secara keseluruhan diatas 1,25 dan diatas 2 itu artinya nilai indeks polaritas untuk tahanan isolasi bisa dikatakan masih bagus.
3. Hasil uji untuk tangen delta menunjukan hasil secara keseluruhan dibawah 0,5% dan itu artinya nilai tangen delta menunjukan angka yang bagus, tapi ada juga yang nilainya menunjukan angka diatas 0,5% yaitu diangka 0,65% untuk uji isolasi CLG dengan metode GSTg ini menunjukan angka penurunan dan masih bisa dipertimbangkan.
4. Hasil uji tegangan tembus minyak isolasi untuk minyak bagian atas menunjukan rata-rata $87,4\text{ kV}/2.5\text{mm}$ dengan kesimpulan masih OK atau bagus, minyak bagian bawah

menunjukkan rata-rata 88,1 kV/2.5mm dengan kesimpulan masih OK, dan minyak OLTC menunjukkan rata-rata 39,1 kV/2.5mm dengan kesimpulan masih OK

5. Minyak trafo apabila sudah dalam keadaan yang tidak bagus perlu dilakukan penyaringan tapi untuk minyak OLTC bila dalam keadaan tidak bagus harus diganti
6. Hasil pengujian keseluruhan tahanan isolasi dilihat dari hasil indeks polaritas, penghitungan tangen delta, dan pengukuran tegangan tembus minyak trafo dapat disimpulkan kondisi transformator pada gardu induk 150kV di Klaten masih layak digunakan dan masih dalam kondisi bagus.

PERSANTUNAN

1. Terima kasih kepada Allah SWT yang telah memberikan kelancaran, kemudahan, dan segala sesuatunya, semua yang telah saya kerjakan karna Allah SWT.
2. Terima kasih kepada orang tua saya yang selalu memberi doa, mengingatkan untuk ibadah dan selalu memberi tekanan supaya saya menjadi orang yang sukses dan berguna untuk sesama tentunya.
3. Terima kasih kepada bapak Aris Budiman, S.T, M.T selaku pembimbing saya dalam penyusunan tugas akhir ini atas ilmunya dan bimbingannya yang sangat bermanfaat.
4. Terima kasih kepada Bapak Ibu dosen teknik elektro Universitas Muhammadiyah Surakarta yang telah membimbing dan memberikan ilmunya yang sangat bermanfaat.
5. Terima kasih untuk teman teman yang selalu membantu semoga kalian semua menjadi orang sukses
6. Teman-teman angkatan 2016 semoga kalian semua sukses
7. Terimakasih kepada angkeringan kang teguh yang selalu menjadi tempat singgah dikala lapar dimalam hari
8. Terima kasih kepada pegawai di gardu induk Klaten yang telah membantu dalam pengumpulan data serta ilmunya yang sangat bermanfaat.
9. Serta semua pihak yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu, terimakasih banyak atas bantuanya doanya semoga Allah membalas kebaikan kalian.

DAFTAR PUSTAKA

International Journal of Control Theory and Applications(2017). *Power Transformer Fire and Explosion: Causes and Control*. ISSN : 0974-5572.

Andi Makulau dkk. (2018) “ *pengujian tahanan isolasi dan rasio pada trafo PS T15 PT*

INDONESIA POWER UP MRICA “ Sekolah Tinggi Teknik – PLN , Januari-Juni 2018.

Badaruddin dkk. (2017). *Analysis On The Quality Of Three-Phase Transformer Oil*. International Research Journal of Computer Science (IRJS), Vol 4.

Persero, PT PLN. (2006). *Buku Pelatihan o&m Transformator Tenaga*, Semarang.

PT PLN (PERSERO) (2013). *Buku Panduan Pemeliharaan Trafo Tenaga*. No. P3B/O&M TRAFO/001.01.

Heinz-Peter Berg, Nicole Fritze(2012) *.Risk And Consequences Of Transformer Explosions And Fires In Nuclear Power Plants*. Journal Of Konbin 3(23)2012 ISSN 1895-8281.

Arikan O., Kumru C.F., Kocatepe C. (2012). “Measurement of the Dielectric Performance of an Instrument Transformer at Different Voltage and Frequencies”. 34220, *Esenler/TURKEY*.

Pranay Salavkar, Ankita Bhosale (2019). “*Testing of Three Phase Power Transforme*. Vol. 7, Issue 1, ISSN (Online) 2321-2004.